

Rec'd 03 DEC 2004

10-16810

Дн/03/252

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ  
(РОСПАТЕНТ)

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995  
Телефон 240 60 15. Телекс 114818 ПДЧ. Факс 243 33 37

REC'D 05 SEP 2003

WIPO

PCT

Наш № 20/12-408

«30» июля 2003 г.

С П Р А В К А

BEST AVAILABLE COPY

Федеральный институт промышленной собственности (далее – Институт) настоящим удостоверяет, что приложенные материалы являются точным воспроизведением первоначального описания, формулы, реферата и чертежей (если имеются) заявки № 2002114935 на выдачу патента на изобретение, поданной в Институт в июне месяце 07 дня 2002 года (07.06.2002).

Название изобретения:

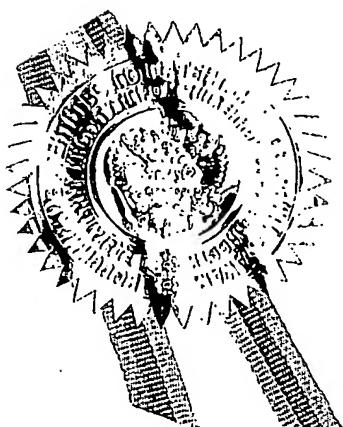
Способ получения изображения объекта,  
устройство для его осуществления и  
устройство доставки низкокогерентного  
оптического излучения

Заявитель:

ГЕЛИКОНОВ Григорий Валентинович  
ГЕЛИКОНОВ Валентин Михайлович  
МЯКОВ Алексей Викторович  
ФЕЛЬДШТЕЙН Феликс Исаакович

Действительные авторы:

ГЕЛИКОНОВ Григорий Валентинович  
ГЕЛИКОНОВ Валентин Михайлович  
МЯКОВ Алексей Викторович  
ФЕЛЬДШТЕЙН Феликс Исаакович



И.о. заведующего отделом 20

Т.Ф.Владимирова

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2002114935



МПК<sup>7</sup> G01J 9/02

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВО ДОСТАВКИ НИЗКОКОГЕРЕНТНОГО  
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Изобретение относится к технической физике, в частности, к исследованиям внутренней структуры объектов оптическими средствами, и может быть использовано для получения изображения объекта с помощью оптического низкокогерентного излучения при диагностике состояния отдельных органов и систем человека *in vivo* или *in vitro*, а также в технической диагностике, например, для контроля технологических процессов.

Устройства для получения изображения объекта с помощью оптического низкокогерентного излучения достаточно хорошо известны (см., например, устройства по пат. США №№ 5321501, 5383467, 5459570, 5582171, 6134003, международная заявка № WO 00/16034 и др) и представляют собой оптически связанные источник низкокогерентного оптического излучения, оптический интерферометр, и фотоприемник, связанный с блоком обработки и индикации. Интерферометр выполнен обычно в виде интерферометра Майкельсона (см., например, X.Clivaz et al. "High resolution reflectometry in biological tissues", Opt.Lett. /Vol.17, No. 1/January 1, 1992; J.A.Izatt, J.G.Fujimoto et al, "Optical coherence microscopy in scattering media", Opt.Lett./ Vol.19, No. 8/April 15, 1994, p.590-592), либо интерферометра Маха-Цендера (см., например, J.A.Izatt, J.G.Fujimoto et al. "Micron-resolution Biomedical Imaging with optical coherence tomography", Optics & Photonic News, October 1993, Vol.4, No.10, p.14-19; пат. США № 5582171, международная заявка № WO 00/16034). Вне зависимости от используемой конкретной схемы оптического интерферометра он традиционно содержит один или два светорасщепителя, а также измерительное и опорное плечи. Измерительное плечо, как правило, снабжено измерительным зондом, чаще всего, оптоволоконным, выполняющим функцию доставки низкокогерентного оптического излучения на исследуемый объект, а на конце опорного плеча установлено референтное зеркало (например, A.Sergeev et al, "In vivo optical coherence tomography of human skin

"microstructure", Proc. SPIE, v.2328, 1994, p.144; X.J.Wang et al. Characterization of human scalp hairs by optical low coherence reflectometry. Opt. Lett./Vol.20, No.5, 1995, pp.524-526). Для обеспечения продольного сканирования исследуемого объекта референтное зеркало соединяют с элементом, обеспечивающим механическое перемещение референтного зеркала (пат. США №№ 5321501, 5459570), либо фиксируют местоположение референтного зеркала, а продольное сканирование осуществляют с помощью пьезоэлектрического сканирующего элемента (пат. РФ № 2100787, 1997 г.), либо с помощью дисперсионно-решеточной линии задержки (K.F.Kwong, D.Yankelevich et al. 400-Hz mechanical scanning optical delay line, Optics Letters, Vol.18, No.7, April 1, 1993). Иногда оптическую схему интерферометра полностью или частично реализуют с использованием оптических элементов с сосредоточенными параметрами (пат. США № 5383467), но чаще оптические интерферометры такого назначения выполняют оптоволоконными (пат. США №№ 5321501, 5459570, 5582171).

Достоинством устройств для получения изображения объекта с помощью оптического низкогерентного излучения является возможность получения изображений мутных сред с высоким пространственным разрешением, а также возможность неинвазивной диагностики при проведении медицинских исследований и неразрушающего контроля при технической диагностике различного оборудования.

Известные усовершенствования устройств для получения изображения объекта с помощью оптического низкогерентного излучения направлены, в частности, на повышение разрешающей способности устройства (например, ст. W. Drexler et al. "In vivo ultrahigh-resolution optical coherence tomography", Opt. Lett./Vol.24, No.17/September 1, 1999), на снижение инерционности продольного сканирования исследуемого объекта (пат. РФ № 2100787), на повышение эффективности использования мощности источника оптического излучения при обеспечении оптимального соотношения сигнал/шум (например, международная заявка № WO 00/16034, пат. РФ № 2169347, 2001 г.).

Измерительный зонд, входящий в состав измерительного плеча, выполняет функцию доставки низкогерентного оптического излучения на исследуемый объект и выполнен, как правило, в виде оптоволоконного зонда, содержащим

оптическое волокно, размещенное с возможностью прохождения через него низкокогерентного оптического излучения от проксимального конца зонда к его дистальному концу, и оптическую систему, которая обеспечивает фокусировку низкокогерентного оптического излучения на исследуемом объекте и включает, по меньшей мере, один линзовый компонент с положительной оптической силой, а также систему поперечного сканирования низкокогерентного оптического излучения (например, по пат. США №№ 5321501, 5383467, 5459570, 5582171). Измерительный зонд включает, как правило, протяженный корпус, снабженный продольным сквозным отверстием, в котором в продольном направлении размещено оптическое волокно. Система поперечного сканирования включает исполнительный механизм, который может быть выполнен в виде пьезоэлектрического элемента, шагового электродвигателя, электромагнитной системы или электростатической системы (пат. США №№ 5321501, 5383467).

Известные усовершенствования измерительных зондов, входящих в состав устройств для получения изображения объектов с помощью оптического низкокогерентного излучения, направлены, в частности, на обеспечение возможности получения изображения тонких сосудов (пат. США № 55821721), на оптимизацию конструкции зонда с точки зрения получения максимальной амплитуды отклонения пучка оптического излучения при ограниченных размерах корпуса оптоволоконного зонда (пат. РФ № 2148378, 2000 г.).

Известные устройства для получения изображения объекта с помощью низкокогерентного оптического излучения реализуют, в сущности, один и тот же способ получения изображения объекта, описанный, например, в пат. США №№ 5321501, 5383467, 5459570, 5582171, пат. РФ № 2148378, который и является ближайшим аналогом разработанного способа получения изображения объекта. По способу, известному по пат. РФ № 2148378, низкокогерентное оптическое излучение направляют одновременно на исследуемый объект и по референтному оптическому пути. При этом упомянутое оптическое излучение направляют на исследуемый объект через оптическую систему, которая обеспечивает фокусировку низкокогерентного оптического излучения на исследуемом объекте, при одновременном поперечном сканировании упомянутого оптического излучения по поверхности, приблизительно ортогональной

направлению распространения упомянутого оптического излучения. Затем смешивают оптическое излучение, вернувшееся от исследуемого объекта, и оптическое излучение, прошедшее по референтному оптическому пути, и отображают интенсивность оптического излучения, вернувшегося от исследуемого объекта, используя для этого оптическое излучение, являющееся результатом указанного смешения. Кроме того, осуществляют продольное сканирование исследуемого объекта, изменяя по заданному закону, по меньшей мере, на несколько десятков длин волн низкогерентного оптического излучения, разность оптических длин путей для низкогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, и низкогерентного оптического излучения, направляемого по референтному пути.

Ближайшим аналогом разработанного устройства для получения изображения объекта является устройство по указанному выше пат. РФ № 2148378. Устройство содержит оптически связанные источник низкогерентного оптического излучения, интерферометр, и, по меньшей мере, один фотоприемник, выход которого связан с блоком обработки и индикации. Интерферометр включает оптически связанные светорасцепитель, измерительное и референтное плечи, при этом измерительное плечо снабжено устройством доставки низкогерентного оптического излучения, выполненным в виде оптоволоконного зонда. Упомянутое устройство доставки низкогерентного оптического излучения содержит оптическое волокно, размещенное с возможностью прохождения через него низкогерентного оптического излучения от проксимального конца упомянутого устройства доставки к его дистальному концу, оптическую систему, которая обеспечивает фокусировку низкогерентного оптического излучения на исследуемом объекте и включает, по меньшей мере, первый линзовый компонент с положительной оптической силой, а также систему поперечного сканирования низкогерентного оптического излучения. Оптическое волокно входит в состав упомянутой системы поперечного сканирования, которая выполнена с возможностью перемещения торца дистальной части оптического волокна по поверхности поперечного сканирования в направлении, приблизительно перпендикулярном оси оптического волокна.

Ближайшим аналогом разработанного устройства доставки

низкокогерентного оптического излучения является оптоволоконный зонд, являющийся частью оптического интерферометра по указанному выше пат. РФ № 2148378. Оптоволоконный зонд содержит оптически связанные оптическое волокно, размещенное с возможностью прохождения через него низкокогерентного оптического излучения от проксимального конца оптоволоконного зонда к его дистальному концу, и оптическую систему, которая обеспечивает фокусировку низкокогерентного оптического излучения на исследуемом объекте и включает, по меньшей мере, первый линзовый компонент с положительной оптической силой, а также систему поперечного сканирования низкокогерентного оптического излучения. Оптическое волокно входит в состав упомянутой системы поперечного сканирования, которая выполнена с возможностью перемещения торца дистальной части оптического волокна по поверхности поперечного сканирования в направлении, приблизительно перпендикулярном оси оптического волокна.

Недостатком способа, являющегося ближайшим аналогом, так же, как и устройства, его реализующего, и оптоволоконного зонда, выполняющего функцию доставки низкокогерентного оптического излучения на исследуемый объект и являющегося частью устройства по пат. РФ № 2148378, равно как и других известных технических решений, предназначенных для получения изображения объекта с помощью оптического низкокогерентного излучения, является то, что получаемое изображение плоского объекта выглядит искривленным. Это искривление связано с особенностью построения изображения по интерференциальному сигналу, являющемуся результатом смешения оптического излучения, вернувшегося от исследуемого объекта, и излучения, прошедшего по референтному пути. Известно, что указанный интерференционный сигнал возникает при равенстве оптических длин путей для низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, и низкокогерентного оптического излучения, направляемого по референтному пути. Однако, время распространения низкокогерентного оптического излучения от точек на плоской поверхности поперечного сканирования, разно удаленных от оптической оси устройства, до соответствующих сопряженных точек в плоскости изображения, различно. Поэтому, в то время как оптическая длина пути низкокогерентного оптического излучения, распространяющегося по референтному пути, неизменна,

оптическая длина пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, при поперечном сканировании не является константой, что приводит к искривлению формируемого изображения. Это видно на фиг. 19, где приведен пример изображения, полученного известным путем, а также на фиг. 8, 9 и 10, иллюстрирующих построение изображения с помощью известных технических решений. На фиг. 8, 9 и 10 показаны, соответственно, линии 31, 34, 35, соответствующие геометрическому месту точек, до которых оптическая длина пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, имеет одинаковую величину при распространении от соответствующих сопряженных точек на плоской поверхности 28 поперечного сканирования, разно удаленных от оптической оси устройства. Из рисунков видно, что линии 31, 34, 35 имеют кривизну. Кроме того, в случае, когда поверхность поперечного сканирования имеет кривизну, например, когда оптическое волокно в оптоволоконном зонде выполняет функцию упругой консоли, возникает дополнительная аберрация, которая также вносит вклад в искривление формируемого изображения. Другим недостатком известных технических решений является фиксированное положение места фокусировки направляемого на объект низкокогерентного оптического излучения, в то время как местоположение окна когерентности при продольном сканировании изменяется, что ограничивает поперечное разрешение способа и реализующих его устройств, особенно при значительной глубине сканирования. Причиной является сильная дифракционная расходимость острофокусированного излучения, и, как следствие, малая глубина резкости. Так, глубина резкости для Гауссова сфокусированного пучка составляет  $d = \pi a^2 / 4\lambda$ , где  $a$  – диаметр перетяжки пучка,  $\lambda$  – длина волны,  $\pi=3.1416$ . Соответственно, для типичных параметров  $a = 0.005$  мм,  $\lambda = 1300$  нм, глубина резкости составляет всего 0.015 мм (15  $\mu\text{м}$ ). Для обеспечения высокого поперечного разрешения при большой глубине продольного сканирования в известных устройствах производят синхронное сканирование положения фокальной перетяжки, т.е. места фокусировки оптического излучения, путем перемещения одной из линз оптической системы, и положения окна когерентности путем сканирования разности длин плеч интерферометра. Такой подход был впервые продемонстрирован в ст. Izatt, JA, Hee, MR, Owen, GM, Swanson, EA and Fujimoto,

JG, 1994, Optical coherence microscopy in scattering media, Optics Letts. 19, 590-592, и получил название оптической когерентной микроскопии (ОКМ). Все известные реализации ОКМ выполняются путем выполнения этих двух сканирований (положения места фокусировки и положения окна когерентности) с помощью двух независимых синхронно работающих устройств. Синхронизация этих устройств является самостоятельной и довольно сложной инженерной задачей, и сложности нарастают по мере увеличения скорости ввода изображений.

Таким образом, задачей, на решение которой направлено настоящее изобретение, является разработка способа получения изображения объекта с помощью оптического низкокогерентного излучения и устройства для его осуществления, а также устройства доставки низкокогерентного оптического излучения, являющегося частью устройства для получения изображения объекта с улучшенными эксплуатационными характеристиками, которые позволяют формировать искаженное, плоское изображение плоского объекта исследования. Другой задачей является повышение поперечного разрешения способа получения изображения объекта, реализующего его устройства и устройства доставки низкокогерентного оптического излучения.

Сущность разработанного способа получения изображения объекта заключается в том, что так же, как и в способе, который является ближайшим аналогом, низкокогерентное оптическое излучение направляют одновременно на исследуемый объект и по референтному пути. При этом упомянутое оптическое излучение направляют на исследуемый объект через оптическую систему, которая обеспечивает фокусировку низкокогерентного оптического излучения на исследуемом объекте, при одновременном поперечном сканировании упомянутого оптического излучения по поверхности, приблизительно ортогональной направлению распространения упомянутого оптического излучения. Затем смешивают излучение, вернувшееся от исследуемого объекта, и излучение, прошедшее по референтному оптическому пути, и отображают интенсивность оптического излучения, вернувшегося от исследуемого объекта, используя для этого оптическое излучение, являющееся результатом указанного смешения.

Новым в разработанном способе является то, что корректируют связанную с поперечным сканированием аберрацию оптической длины пути низкокогерентного

оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, путем обеспечения постоянства времени распространения низкокогерентного оптического излучения от заданной точки на поверхности поперечного сканирования до соответствующей сопряженной точки в плоскости изображения в пределах поля зрения.

Целесообразно для заданных координат на поверхности поперечного сканирования дополнительно осуществлять продольное сканирование, изменяя по заданному закону разность оптических длин путей для низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, и низкокогерентного оптического излучения, направляемого по референтному пути.

В частном случае разность оптических длин путей для низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, и низкокогерентного оптического излучения, направляемого по референтному пути, изменяют, по меньшей мере, на несколько десятков длин волн низкокогерентного оптического излучения.

В другом частном случае изменение разности оптических длин путей для низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, и низкокогерентного оптического излучения, направляемого по референтному пути, осуществляют путем изменения оптической длины пути для низкокогерентного оптического излучения от поверхности поперечного сканирования до оптической системы.

В другом частном случае исследуемым объектом является биоткань живого организма.

В конкретной реализации этого частного случая исследуемым объектом является внутренняя полость живого организма.

В конкретной реализации в качестве упомянутого низкокогерентного оптического излучения используют оптическое излучение видимого или ближнего ИК диапазона длин волн.

Сущность разработанного устройства для получения изображения объекта заключается в том, что оно так же, как и устройство, которое является ближайшим аналогом, содержит оптически связанные источник низкокогерентного оптического излучения, интерферометр, и, по меньшей мере, один фотоприемник, выход которого связан с блоком обработки и индикации. Интерферометр включает

оптически связанные светорасщепитель, измерительное и референтное плечи, а измерительное плечо снабжено устройством доставки низкогерентного оптического излучения. Устройство доставки содержит оптически связанные оптическое волокно и оптическую систему, а также систему поперечного сканирования низкогерентного оптического излучения. Оптическое волокно размещено с возможностью прохождения через него низкогерентного оптического излучения от проксимального конца устройства доставки к его дистальному концу, а оптическая система обеспечивает фокусировку низкогерентного оптического излучения на исследуемом объекте. Оптическая система включает, по меньшей мере, первый линзовый компонент с положительной оптической силой, а оптическое волокно входит в состав упомянутой системы поперечного сканирования, которая выполнена с возможностью перемещения торца дистальной части оптического волокна по поверхности поперечного сканирования в направлении, приблизительно перпендикулярном оси оптического волокна.

Новым в разработанном устройстве для получения изображения объекта является то, что оптическая система оптоволоконного зонда выполнена с возможностью коррекции аберрации оптической длины измерительного плеча, связанной с поперечным сканированием. При этом упомянутая оптическая система содержит, по меньшей мере, второй линзовый компонент с положительной оптической силой, установленный за упомянутым первым линзовым компонентом.

В частном случае поверхность поперечного сканирования характеризуется отличной от нуля кривизной.

В конкретной реализации этого частного случая упомянутое оптическое волокно выполняет функцию упругой консоли и закреплено в опорном элементе, входящем в состав оптоволоконного зонда.

В другом частном случае первый и второй линзовые компоненты оптической системы размещены приблизительно конфокально.

В другом частном случае первый линзовый компонент оптической системы размещен на расстоянии, приблизительно равном фокусному расстоянию этого линзового компонента, от поверхности поперечного сканирования, а расстояние между первым и вторым линзовыми компонентами оптической системы отличается от расстояния, соответствующего конфокальному расположению упомянутых

линзовых компонент оптической системы на величину  $\delta_1$ , связанную с фокусным расстоянием  $F_1$  первого линзового компонента оптической системы и радиусом  $R$  кривизны поверхности поперечного сканирования соотношением:

$$\delta_1 \cong (F_1)^2 / R.$$

В другом частном случае первый линзовый компонент оптической системы смещен на расстояние  $\delta_2$  от положения, при котором расстояние от этого линзового компонента до поверхности поперечного сканирования приблизительно равно фокусному расстоянию этого линзового компонента, а расстояние между первым и вторым линзовыми компонентами оптической системы отличается от расстояния, соответствующего конфокальному расположению упомянутых линзовых компонент оптической системы на величину  $\delta_3$ , определяемую соотношением:

$$\delta_3 \cong (F_1)^2 / (R + \delta_2).$$

В другом частном случае устройство доставки низкокогерентного оптического излучения выполнено в виде оптоволоконного зонда.

В другом частном случае, по меньшей мере, одно из плеч интерферометра дополнительно снабжено устройством для продольного сканирования исследуемого объекта.

В конкретной реализации этого частного случая устройство для продольного сканирования размещено в измерительном плече интерферометра и выполнено обеспечивающим изменение оптической длины участка измерительного плеча от поверхности поперечного сканирования до оптической системы.

В частном случае этой конкретной реализации при получении изображения подповерхностной части исследуемого объекта коэффициент  $M$  увеличения оптической системы связан с показателем  $N_1$  преломления исследуемого объекта следующим образом:  $M = 1/N_1$ .

В частном другом случае этой конкретной реализации при получении изображения профиля исследуемого объекта коэффициент  $M$  увеличения оптической системы связан с показателем  $N_2$  преломления среды, соприкасающейся с поверхностью исследуемого объекта, следующим образом:  $M = 1/N_2$ .

В другой конкретной реализации устройство для продольного сканирования размещено внутри устройства доставки низкокогерентного оптического излучения.

В другом частном случае торец дистальной части оптического волокна

снабжен жестко скрепленной с ним микролинзой.

Сущностью разработанного устройства доставки низкокогерентного оптического излучения является то, что оно так же, как и устройство доставки, являющееся ближайшим аналогом, содержит оптически связанные оптическое волокно, размещенное с возможностью прохождения через него низкокогерентного оптического излучения от проксимального конца устройства доставки к его дистальному концу, и оптическую систему, которая обеспечивает фокусировку низкокогерентного оптического излучения на исследуемом объекте. Оптическая система включает, по меньшей мере, первый линзовый компонент с положительной оптической силой, а также систему поперечного сканирования низкокогерентного оптического излучения. Оптическое волокно входит в состав упомянутой системы поперечного сканирования, которая выполнена с возможностью перемещения торца дистальной части оптического волокна по поверхности поперечного сканирования в направлении, приблизительно перпендикулярном оси оптического волокна.

Новым в разработанном устройстве доставки низкокогерентного оптического излучения является то, что упомянутая оптическая система выполнена с возможностью коррекции связанной с поперечным сканированием аберрации оптической длины пути низкокогерентного оптического излучения, проходящего через устройство доставки. При этом оптическая система содержит, по меньшей мере, второй линзовый компонент с положительной оптической силой, который установлен за упомянутым первым линзовым компонентом.

В частном случае поверхность поперечного сканирования характеризуется отличной от нуля кривизной.

В конкретной реализации этого частного случая упомянутое оптическое волокно выполняет функцию упругой консоли и закреплено в опорном элементе, входящем в состав устройства доставки низкокогерентного оптического излучения.

В другом частном случае первый и второй линзовые компоненты оптической системы размещены приблизительно конфокально.

В другом частном случае первый линзовый компонент оптической системы размещен на расстоянии, приблизительно равном фокусному расстоянию этого линзового компонента, от поверхности поперечного сканирования, а расстояние между первым и вторым линзовыми компонентами оптической системы отличается

от расстояния, соответствующего конфокальному расположению упомянутых линзовых компонент оптической системы на величину  $\delta_1$ , связанную с фокусным расстоянием  $F_1$  первого линзового компонента оптической системы и радиусом  $R$  кривизны поверхности поперечного сканирования соотношением:

$$\delta_1 \cong (F_1)^2 / R.$$

В другом частном случае первый линзовый компонент оптической системы смещен на расстояние  $\delta_2$  от положения, при котором расстояние от этого линзового компонента до поверхности поперечного сканирования приблизительно равно фокусному расстоянию этого линзового компонента, а расстояние между первым и вторым линзовыми компонентами оптической системы отличается от расстояния, соответствующего конфокальному расположению упомянутых линзовых компонент оптической системы на величину  $\delta_3$ , определяемую соотношением:

$$\delta_3 \cong (F_1)^2 / (R + \delta_2).$$

В другом частном случае что устройство доставки низкокогерентного оптического излучения выполнено в виде оптоволоконного зонда, при этом оптическое волокно, оптическая система и система поперечного сканирования низкокогерентного оптического излучения размещены в протяженном корпусе, снабженном продольным сквозным отверстием, в котором в продольном направлении размещено упомянутое оптическое волокно.

В другом частном случае вблизи плоскости изображения торца дистальной части оптического волокна размещено выходное окно устройства доставки низкокогерентного оптического излучения.

В конкретной реализации этого частного случая функцию выходного окна устройства доставки низкокогерентного оптического излучения выполняет второй линзовый компонент оптической системы.

В другой конкретной реализации этого частного случая нормаль к наружной поверхности выходного окна устройства доставки низкокогерентного оптического излучения ориентирована под углом к направлению падения низкокогерентного оптического излучения на упомянутую наружную поверхность, превышающим угол расходимости упомянутого низкокогерентного оптического излучения в месте его пересечения с упомянутой наружной поверхностью.

В частном случае при однокоординатной приближенно линейной траектории

поперечного сканирования второй линзовый компонент смешен в направлении, ортогональном направлению поперечного сканирования, и в направлении, ортогональном направлению распространения низкокогерентного оптического излучения.

В другом частном случае устройство доставки дополнительно снабжено устройством для продольного сканирования, выполненным в виде устройства для изменения оптической длины пути низкокогерентного оптического излучения от поверхности поперечного сканирования до оптической системы.

В конкретной реализации этого частного случая при получении изображения подповерхностной части исследуемого объекта коэффициент  $M$  увеличения оптической системы связан с показателем  $N_1$  преломления исследуемого объекта следующим образом:  $M = 1/N_1$ .

В другой конкретной реализации этого частного случая при получении изображения профиля исследуемого объекта коэффициент  $M$  увеличения оптической системы связан с показателем  $N_2$  преломления среды, соприкасающейся с поверхностью исследуемого объекта, следующим образом:  $M = 1/N_2$ .

В другом частном случае торец дистальной части оптического волокна снабжен жестко скрепленной с ним микролинзой.

В настоящем изобретении при получении изображения объекта обеспечено постоянство времени распространения низкокогерентного оптического излучения от заданной точки на поверхности поперечного сканирования, пространственное положение которой соответствует пространственному положению торца дистальной части оптического волокна, до соответствующей сопряженной точки в плоскости изображения в пределах поля зрения. Это обеспечивает коррекцию связанной с поперечным сканированием aberrации оптической длины пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, и достигается выполнением оптической системы в виде, по меньшей мере, двух, размещенных приблизительно конфокально, линзовых компонент с положительной оптической силой. При этом, как при плоской поверхности поперечного сканирования, так и при поверхности поперечного сканирования, имеющей кривизну, первый линзовый компонент может быть установлен как на расстоянии, равном фокусному расстоянию этого компонента, от поверхности поперечного

сканирования, так и на расстоянии, несколько большем или несколько меньшем указанного фокусного расстояния. В случае, когда поверхность поперечного сканирования имеет кривизну, компенсация связанной с ней дополнительной аберрации, обеспечивается соответствующей вносимой аберрацией с обратным знаком. Кроме того, реализация продольного сканирования путем изменения оптической длины пути для низкокогерентного оптического излучения от поверхности поперечного сканирования до оптической системы, а следовательно, и до исследуемого объекта, обеспечивает соответствующее смещение места фокусировки низкокогерентного оптического излучения при продольном сканировании исследуемого объекта. Совместная реализация в настоящем изобретении постоянства времени распространения низкокогерентного оптического излучения от заданной точки на поверхности поперечного сканирования до соответствующей сопряженной точки в плоскости изображения и указанного способа продольного сканирования позволяют совместить положение места фокусировки низкокогерентного оптического излучения и положение окна когерентности, и, следовательно, одновременное их перемещение. Это исключает необходимость использования дополнительных синхронизирующих устройств, требующихся в известных технических решениях. Указанная реализация обеспечивает высокое поперечное разрешение способа и устройства для его реализации. Ориентирование нормали к наружной поверхности выходного окна оптоволоконного зонда под углом к направлению падения низкокогерентного оптического излучения на упомянутую наружную поверхность, превышающим угол расходимости низкокогерентного оптического излучения в месте его пересечения с упомянутой наружной поверхностью, препятствует попаданию отраженного излучения назад в оптическое волокно. Конкретные виды и формы выполнения второго линзового компонента характеризуют изобретение в частных конкретных случаях его выполнения.

Все вышеизложенное позволяет решить задачу, на решение которой направлено настоящее изобретение - разработать способ для получения изображения объекта, устройство для его реализации и устройство доставки низкокогерентного оптического излучения, являющееся частью устройства для получения изображения объекта, которые позволяют формировать неискаженное,

плоское изображение плоского объекта исследования, и характеризуются также высоким поперечным разрешением.

На фиг.1 приведен вариант структурной схемы разработанного устройства для получения изображения объекта, с помощью которого может быть реализован разработанный способ.

На фиг. 2 изображен вариант конструкции оптоволоконного зонда (в поперечном сечении).

На фиг. 3, 4, 5, 6, 7 изображены варианты выполнения оптической системы оптоволоконного зонда (в поперечном сечении).

Фиг. 8, 9, 10 иллюстрируют построение изображения с помощью известных технических решений.

Фиг. 11, 12, 13, 14, 15 иллюстрируют процедуру коррекции аберрации оптической длины пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, с помощью разработанных технических решений.

На фиг.16 приведен другой вариант структурной схемы разработанного устройства для получения изображения объекта, с помощью которого может быть реализован разработанный способ.

Фиг. 17, 18 иллюстрируют различные варианты выполнения оптоволоконного зонда при размещении в нем устройства для продольного сканирования исследуемого объекта, выполненным в виде устройства для изменения оптической длины пути низкокогерентного оптического излучения от торца дистальной части оптического волокна до оптической системы.

На фиг. 19, 20 показаны примеры изображений, полученных с помощью известного и разработанного технического решения, соответственно.

Разработанные способ получения изображения объекта, устройство для его реализации и устройство доставки низкокогерентного оптического излучения иллюстрируются на примерах оптоволоконного интерферометра, входящего в состав устройства для оптической низкокогерентной томографии, и оптоволоконного зонда, хотя очевидно, что они могут быть реализованы с помощью оптических элементов с сосредоточенными параметрами.

Устройство по фиг. 1 содержит оптически связанные источник 1 низкокогерентного оптического излучения, оптоволоконный интерферометр 2, и, в

конкретной реализации, один фотоприемник 3, выход которого связан с блоком 4 обработки и индикации. Интерферометр 2, который в конкретной реализации представляет собой интерферометр Майкельсона, включает оптически связанные светорасщепитель 5, оптоволоконные измерительное плечо 6 и референтное плечо 7. Измерительное плечо 6 снабжено устройством доставки низкокогерентного оптического излучения, выполненное в конкретной реализации в виде оптоволоконного зонда 8, а на конце референтного плеча 7 в конкретной реализации установлено референтное зеркало 9. Референтное плечо 7 содержит устройство 10 для продольного сканирования исследуемого объекта 11. Устройство 10 связано с источником управляющего напряжения (на чертеже не показан), а выход блока 4 оптоволоконного интерферометра 2 является выходом разработанного устройства.

Оптоволоконный зонд 8 по фиг. 2 содержит протяженный корпус 12, снабженный продольным сквозным отверстием 13, в котором в продольном направлении размещено оптическое волокно 14, оптическая система 15 и система 16 поперечного сканирования, которая связана с источником управляющего тока (на чертеже не показан). Торец 17 дистальной части 18 оптического волокна 14 оптически связан с оптической системой 15. Оптическая система 15 обеспечивает фокусировку низкокогерентного оптического излучения на исследуемом объекте 11. Оптическая система 15 содержит, по меньшей мере, два линзовых компонента с положительной оптической силой. В конкретной реализации по фиг. 2 оптическая система 15 включает последовательно установленные на оптической оси первый линзовый компонент 19 и второй линзовый компонент 20. Система 16 поперечного сканирования выполнена с возможностью перемещения дистальной части 18 оптического волокна 14 в направлении, приблизительно перпендикулярном оси оптического волокна 14. В конкретной реализации, представленной на фиг. 2, оптическое волокно 14 выполняет функцию упругой консоли и закреплено в опорном элементе 21, входящем в состав оптоволоконного зонда 8.

В варианте оптоволоконного зонда, представленном на фиг. 2, вблизи плоскости 22 изображения торца 17 дистальной части 18 оптического волокна 14 размещено выходное окно 23 оптоволоконного зонда 8. При этом функцию выходного окна 23 оптоволоконного зонда 8 выполняет второй линзовый компонент 20 оптической системы 15.

Вариант оптической системы 15 оптоволоконного зонда 8, представленный на фиг. 3, не содержит выходного окна 23.

В варианте оптической системы 15 по фиг. 4 нормаль 24 к наружной поверхности 25 выходного окна 23 оптоволоконного зонда 8 ориентирована под углом  $\alpha_1$  к направлению падения низкокогерентного оптического излучения на наружную поверхность 25, превышающим угол  $\alpha_2$  расходности упомянутого низкокогерентного оптического излучения в месте его пересечения с наружной поверхностью 25. В этом варианте второй линзовый компонент 20 смешен в направлении, ортогональном направлению поперечного сканирования, и в направлении, ортогональном направлению распространения низкокогерентного оптического излучения. В этой конкретной реализации второй линзовый компонент 20 выполнен в виде сферической линзы, поэтому указанное смещение реализовано смещением центра кривизны линзы.

Фиг. 5 иллюстрирует другой вариант указанного смещения второго линзового компонента 20. При этом также выполняется указанное выше условие ориентации нормали 24 к направлению падения низкокогерентного оптического излучения на наружную поверхность 25 выходного окна 23. В этой реализации выходное окно 23 выполнено в виде плоскопараллельной пластины 26.

На фиг. 6 показана реализация оптической системы 15, в которой второй линзовый компонент 20 выполняет функцию выходного окна 23, при этом наружная поверхность 25 линзового компонента 20 скошена для выполнения указанного выше условия, касающегося ориентации нормали 24 к направлению падения низкокогерентного оптического излучения на наружную поверхность 25 выходного окна 23.

В варианте, представленном на фиг. 7, оптическая система 15 выполнена в виде композитной линзы 27, в состав которой входят первый 19 и второй 20 линзовые компоненты.

Фиг. 8 иллюстрирует построение изображения известным способом в известных устройствах для плоской поверхности 28 поперечного сканирования в случае, когда оптическая система 29 выполнена в виде одного линзового компонента 30 с положительной оптической силой. На чертеже показана также линия 31, соответствующая геометрическому месту точек, до которых оптическая

длина пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект 11, имеет одинаковую величину при распространении от соответствующих сопряженных точек на плоской поверхности 28 поперечного сканирования, разно удаленных от оптической оси устройства.

Фиг. 9 и фиг. 10 иллюстрируют построение изображения известным способом в известных устройствах для плоской поверхности 28 поперечного сканирования в случаях, когда оптическая система 29 выполнена в виде двух линзовых компонент 32, 33 с положительной оптической силой, и расположенных друг от друга на расстоянии, соответственно, большем и меньшем конфокального. На фиг. 9, 10 показаны также, соответственно, линии 34, 35, соответствующие геометрическому месту точек до которых оптическая длина пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект 11, имеет одинаковую величину при распространении от соответствующих сопряженных точек на плоской поверхности 28 поперечного сканирования, разно удаленных от оптической оси устройства.

Фиг. 11, фиг. 12 и фиг. 13 иллюстрируют построение изображения в разработанном устройстве, реализующем разработанный способ при плоской поверхности 28 поперечного сканирования. Первый 19 и второй 20 линзовые компоненты расположены приблизительно конфокально. Фиг. 11 иллюстрирует случай, когда первый линзовый компонент 19 размещен на расстоянии, приблизительно равном фокусному расстоянию  $F_1$  этого компонента, от поверхности 28, фиг. 12 иллюстрирует случай, когда первый линзовый компонент 19 размещен на расстоянии  $d_1$ , несколько большем фокусного расстояния  $F_1$ , от поверхности 28, а на фиг. 13 первый линзовый компонент 19 размещен на расстоянии  $d_2$ , несколько меньшем фокусного расстояния  $F_1$ , от поверхности 28. На фиг. 11, 12, 13 показаны также, соответственно, линии 36, 37, 38, соответствующие геометрическому месту точек, до которых оптическая длина пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект 11, имеет одинаковую величину при распространении от соответствующих сопряженных точек на плоской поверхности 28 поперечного сканирования, разно удаленных от оптической оси устройства.

Фиг. 14 и фиг. 15 иллюстрируют построение изображения в разработанном

устройстве, реализующем разработанный способ при поверхности 39 поперечного сканирования, имеющей кривизну  $R$ . При этом фиг. 14 иллюстрирует случай, когда первый линзовый компонент 19 размещен на расстоянии, приблизительно равном фокусному расстоянию  $F_1$  этого компонента, от поверхности 39 поперечного сканирования; в этом случае расстояние между первым 19 и вторым 20 линзовыми компонентами оптической системы 15 отличается от расстояния, соответствующего конфокальному расположению упомянутых линзовых компонент оптической системы 15 на величину  $\delta_1$ , связанную с фокусным расстоянием  $F_1$  первого линзового компонента 19 и радиусом  $R$  кривизны поверхности 39 поперечного сканирования соотношением:

$$\delta_1 \cong (F_1)^2 / R.$$

А фиг. 15 иллюстрирует случай, когда первый линзовый компонент 19 смешен на расстояние  $\delta_2$  от положения, при котором расстояние от этого линзового компонента 19 до поверхности 39 поперечного сканирования приблизительно равно фокусному расстоянию  $F_1$  этого линзового компонента; в этом случае расстояние между первым 19 и вторым 20 линзовыми компонентами отличается от расстояния, соответствующего конфокальному расположению упомянутых линзовых компонент оптической системы 15 на величину  $\delta_3$ , определяемую соотношением:

$$\delta_3 \cong (F_1)^2 / (R + \delta_2).$$

На фиг. 14, 15 показана также линия 40, соответствующая геометрическому месту точек, до которых оптическая длина пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект 11, имеет одинаковую величину при распространении от соответствующих сопряженных точек на поверхности 39 поперечного сканирования, разно удаленных от оптической оси устройства.

В устройстве по фиг. 16 устройство 10 для продольного сканирования исследуемого объекта 11 размещено внутри оптоволоконного зонда 8.

Фиг. 17, 18 иллюстрируют варианты выполнения оптоволоконного зонда 8 при размещении в нем устройства 10 для продольного сканирования исследуемого объекта 11, выполненным в виде устройства для изменения оптической длины пути низкокогерентного оптического излучения от поверхности 28 поперечного сканирования, пространственное положение которой соответствует пространственному положению торца 17 дистальной части 18 оптического

волокна 14, до оптической системы 15. В реализации по фиг. 17 устройство 10 соединено с дистальной частью 18 оптического волокна 14, а в реализации по фиг. 18 оптоволоконный зонд 8 дополнительно снабжен зеркалами 41, 42, при этом устройство 10 соединено с зеркалом 42.

На фиг. 17, 18 показана также линия 43, соответствующая геометрическому месту точек, до которых оптическая длина пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект 11, имеет одинаковую величину при распространении от соответствующих сопряженных точек на поверхности 28 поперечного сканирования, разно удаленных от оптической оси устройства.

В реализациях, соответствующих фиг. 17, 18, при получении изображения подповерхностной части исследуемого объекта коэффициент  $M$  увеличения оптической системы 15 связан с показателем  $N_1$  преломления исследуемого объекта 11 следующим образом:  $M = 1/N_1$ , а при получении изображения профиля исследуемого объекта коэффициент  $M$  увеличения оптической системы 15 связан с показателем  $N_2$  преломления среды, соприкасающейся с поверхностью исследуемого объекта 11, следующим образом:  $M = 1/N_2$ .

В реализациях, соответствующих фиг. 17, 18, торец 17 дистальной части 18 оптического волокна 14 может быть снабжен жестко скрепленной с ним микролинзой (на чертеже не показано).

Источник 1 представляет собой источник низкокогерентного оптического излучения видимого или ближнего ИК диапазона длин волн; в качестве источника 1 может быть использован, например, лазер или суперлюминесцентный диод.

В качестве интерферометра 2 может быть использован интерферометр любого типа, например, интерферометр Майкельсона, интерферометр Маха-Цендера, а также комбинации таких интерферометров, известные, в частности, по международной заявке № WO 00/16034.

В качестве фотоприемника 3 может быть использован фотодиод.

Блок 4 предназначен для формирования изображения исследуемого объекта путем отображения интенсивности обратно рассеянного когерентного излучения и может быть выполнен, например, аналогично блоку обработки и индикации по ст. В.М.Геликонов и др. "Когерентная оптическая томография микронеоднородностей биотканей", Письма в ЖЭТФ, том. 61, вып.2, с. 149-153,

который включает последовательно соединенные полосовой фильтр, логарифмический усилитель, амплитудный детектор, аналого-цифровой преобразователь и компьютер.

Устройство 10 предназначено для изменения разности оптических длин плеч интерферометра 2, т.е. для продольного сканирования исследуемого объекта 11. В реализации устройства по фиг. 1 референтное зеркало 9 выполнено неподвижным, а устройство 10 выполнено по патенту РФ № 2100787 в виде оптоволоконного пьезоэлектрического преобразователя, содержащего по меньшей мере один пьезоэлектрический элемент, выполненный с возможностью формирования в нем электрического поля и характеризующийся высоким обратным пьезоэффектом, жестко скрепленные с пьезоэлектрическим элементом электроды, а также оптическое волокно, жестко скрепленное с электродами. Размер пьезоэлектрического элемента в направлении, приблизительно ортогональном вектору электрического поля существенно превышает размер пьезоэлектрического элемента в направлении, приблизительно совпадающем с вектором электрического поля, при этом длина оптического волокна существенно превышает диаметр пьезоэлектрического элемента.

Устройство 10 может быть выполнено аналогичным сканерам, описанным в пат. США № 5321501. В этом случае референтное зеркало 9 выполнено в возможность перемещения с постоянной скоростью, а устройство 10, соединенное с референтным зеркалом 9, может быть выполнено в виде различного рода механизмов, описанных в указанном патенте, обеспечивающих необходимое перемещение референтного зеркала 9.

Устройство 10 может также быть выполнено по ст. K.F.Kwong, D.Yankelevich et al, 400-Hz mechanical scanning optical delay line, Optics Letters, Vol.18, No.7, April 1, 1993, в виде дисперсионно-решеточной линии задержки.

В качестве оптического волокна 14 целесообразно использовать одномодовое поляризационно-сохраняющее волокно; например, может быть использовано оптическое волокно типа PANDA.

Корпус 12 оптоволоконного зонда 8 может быть выполнен из нержавеющей стали.

Как первый 19, так и второй 20 линзовые компоненты могут быть выполнены

в виде градиентной линзы. Оптическая система 15 оптоволоконного зонда 8 также может быть выполнена в виде градиентной линзы, в состав которой входят первый 19 и второй 20 линзовые компоненты (на чертеже не показано). Как первый 19, так и второй 20 линзовые компоненты в различных конкретных реализациях оптической системы 15, могут быть выполнены в виде композитной линзы. Эти варианты не представлены на чертежах.

Система 16 поперечного сканирования может быть выполнена, например, так же, как в устройстве по пат. РФ № 2148378.

Первый 19 и второй 20 линзовые компоненты могут включать в себя различные оптические элементы, необходимые, например, для коррекции аберраций различной природы. Целесообразно для повышения качества получаемого изображения выполнить первый 19 и второй 20 линзовые компоненты асферическими.

Во всех вариантах реализации оптоволоконного зонда 8 расстояние между вторым линзовым компонентом 20 и плоскостью 22 изображения определяется условием обеспечения фокусировки на ней низкогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект 11.

Часть измерительного плеча 6 оптоволоконного интерферометра 2 может быть выполнена гибкой и введена в инструментальный канал эндоскопа (на чертеже не показано). Оптоволоконный зонд 8 может быть выполнен миниатюрным (см. фиг.2) и размещен в дистальном конце инструментального канала эндоскопа (на чертеже не показано). В конкретной реализации, предназначеннной для эндоскопических исследований, длина корпуса 12 не превышает 27 мм, а его диаметр не превышает 2,7 мм.

Часть измерительного плеча 6 интерферометра 2, включающая часть, вводимую в инструментальный канал эндоскопа, может быть выполнена сменной и соединена с основной частью измерительного плеча 6 с помощью разъемного соединения. При этом сменная часть измерительного плеча 6 интерферометра 2 может быть выполнена одноразовой. Для удобства пользования дистальная часть оптоволоконного зонда 8 может быть выполнена в виде сменных наконечников.

При реализации разработанного устройства для получения изображения объекта по фиг. 16 устройство 10 может быть выполнено аналогичным сканерам,

описанным в пат. США № 5321501. В реализации по фиг. 16 референтное зеркало 9 выполнено неподвижным, а устройство 10, соединенное либо с дистальной частью 18 оптического волокна 14 (фиг. 17), либо с зеркалом 42 (фиг. 18), может быть выполнено в виде различного рода механизмов, описанных в указанном патенте, обеспечивающих необходимое перемещение дистальной части 18 оптического волокна 14 и зеркала 42.

Работа разработанных устройства для получения изображения объекта и устройства доставки низкокогерентного оптического излучения, выполненного в конкретной реализации в виде оптоволоконного зонда, будет понятна из приведенного ниже описания реализации способа получения изображения объекта.

Способ получения изображения объекта с помощью устройства, структурная схема которого приведена на фиг. 1, и с помощью оптоволоконного зонда, изображенного на фиг. 2, варианты оптической системы которого приведены на фиг. 3-7, реализуется следующим образом.

Размещают оптоволоконный зонд 8 так, что обеспечивается фокусировка низкокогерентного оптического излучения на исследуемом объекте 11.

В конкретной реализации, когда оптоволоконный зонд 8 является эндоскопическим, оптоволоконный зонд 8 размещают так, что наружная поверхность 25 выходного окна 23 находится в соприкосновении с исследуемым объектом 11.

Низкокогерентное оптическое излучение, в конкретной реализации, видимого или ближнего ИК диапазона, сформированное с помощью источника 1, направляют одновременно на исследуемый объект 11 и по референтному пути. Для этого низкокогерентное оптическое излучение разделяют на две части с помощью светорасщепителя 5 оптоволоконного интерферометра 2. Часть оптического излучения через отрезок оптического волокна 14 от проксимального конца оптического волокна 14 к его дистальному концу с помощью оптоволоконного измерительного плеча 6 и оптоволоконного зонда 8 интерферометра 2 направляют на исследуемый объект 11. При этом осуществляют поперечное сканирование этой части оптического излучения путем перемещения дистальной части 18 оптического волокна 14 в направлении приблизительно перпендикулярном оси оптического волокна 14 с помощью системы 16 поперечного сканирования. Оптическая

система 15 обеспечивает фокусировку этой части оптического излучения на исследуемом объекте 11.

Другую часть низкокогерентного оптического излучения направляют по референтному оптическому пути на референтное зеркало 9 с помощью референтного плеча 7 оптоволоконного интерферометра 2. С помощью устройства 10 для заданных координат на поверхности 28 или 39 поперечного сканирования дополнительно изменяют разность оптических длин плеч 6, 7 интерферометра 2 с постоянной скоростью  $V$ , изменения тем самым, по заданному закону разность оптических длин путей для низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект 11, и низкокогерентного оптического излучения, направляемого по референтному пути.

С помощью светорасщепителя 5 смешивают оптическое излучение, вернувшееся от исследуемого объекта 11, и излучение, прошедшее по референтному оптическому пути, в конкретной реализации, отраженное от референтного зеркала 9. При изменении разности оптических длин плеч 6, 7 с помощью устройства 10 происходит интерференционная модуляция интенсивности на частоте Доппеля  $f = 2V/\lambda$ , где  $\lambda$  - рабочая длина волны источника 1, смешанного оптического излучения на выходе светорасщепителя 5, причем закон интерференционной модуляции соответствует изменению интенсивности оптического излучения, вернувшегося от исследуемого объекта 11. Затем получают изображение исследуемого объекта 11 путем отображения интенсивности оптического излучения, вернувшегося от исследуемого объекта 11, используя для этого сигнал интерференционной модуляции интенсивности оптического излучения, являющегося результатом указанного смешения, следующим образом.

Фотоприемник 3 обеспечивает преобразование смешанного оптического излучения с выхода светорасщепителя 5 в электрический сигнал, который поступает в блок 4. Полосовой фильтр блока 4 осуществляет выделение сигнала на частоте Доппеля, что обеспечивает улучшение соотношения сигнал/шум. После усиления сигнал поступает на амплитудный детектор, который выделяет сигнал, пропорциональный огибающей этого сигнала. Выделенный амплитудным детектором блока 4 сигнал пропорционален сигналу интерференционной модуляции интенсивности смешанного оптического излучения. Аналогово-цифровой

преобразователь блока 4 осуществляет преобразование сигнала с выхода амплитудного детектора в цифровую форму. Компьютер блока 4 обеспечивает получение изображения путем отображения на дисплее интенсивности цифрового сигнала (указанное отображение может быть реализовано, например, по кн. H.E.Burdick. *Digital imaging: Theory and Applications*, 304 pp., Mc Graw Hill, 1997). Поскольку цифровой сигнал соответствует изменению интенсивности оптического излучения, вернувшегося от исследуемого объекта 11, то полученное на дисплее изображение соответствует изображению исследуемого объекта 11.

На фиг. 11, 12, 13 показано построение изображения с помощью разработанных технических решений при плоской поверхности 28 поперечного сканирования. Из рисунков видно, что при приблизительно конфокальном расположении первого 19 и второго 20 линзовых компонент оптической системы 15 линии 36, 37, 38, соответствующие геометрическому месту точек, до которых оптическая длина пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект 11, имеет одинаковую величину при распространении от соответствующих сопряженных точек на плоской поверхности 28 поперечного сканирования, разно удаленных от оптической оси устройства, не имеют кривизны. Причем это справедливо при размещении линзового компонента 19 на расстоянии, как приблизительно равном фокусному расстоянию  $F_1$  этого компонента от поверхности 28, так и на расстоянии  $d_1$  большем, или на расстоянии  $d_2$  меньшем фокусного расстояния  $F_1$ , от поверхности 28. При этом в зависимости от местоположения первого линзового компонента 19 линии 37, 38 смешены в ту или иную сторону относительно местоположения линии 36 на некоторую величину  $\delta_4$ .

На фиг. 14, 15 показано построение изображения с помощью разработанных технических решений при поверхности 39 поперечного сканирования, имеющей кривизну  $R$ . Из рисунков видно, что линия 40, соответствующая геометрическому месту точек, до которой оптическая длина пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект 11, имеет одинаковую величину при распространении от соответствующих сопряженных точек на поверхности 39, разно удаленных от оптической оси устройства, не имеют кривизны. При выполнении указанных выше условий взаимного расположения первого 19 и второго 20 линзовых компонент отсутствие кривизны указанной линии имеет место

при размещении линзового компонента 19 на расстоянии, как приблизительно равном фокусному расстоянию  $F_1$  этого компонента от поверхности 39, так и на расстоянии большем или меньшем фокусного расстояния  $F_1$ , от поверхности 39.

Способ получения изображения объекта с помощью устройства, структурная схема которого приведена на фиг. 16, реализуется так же, как и с помощью устройства по фиг. 1. Отличие заключается лишь в том, что изменение разности оптических длин путей для низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект 11, и низкокогерентного оптического излучения, направляемого по референтному пути, осуществляют путем изменения оптической длины пути для низкокогерентного оптического излучения от поверхности поперечного сканирования 28, т.е. от торца 17 дистальной части 18 оптического волокна 14, до оптической системы 15, т.е. до исследуемого объекта 11. При этом в реализации по фиг. 17 указанное изменение разности оптических длин путей обеспечивается путем соответствующего перемещения дистальной части 18 оптического волокна 14 с помощью сканирующего устройства 10, а в реализации по фиг. 18 - путем соответствующего перемещения зеркала 42 с помощью сканирующего устройства 10. На фиг. 17, 18 показано, что линия 43, соответствующая геометрическому месту точек, до которых оптическая длина пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект 11, имеет одинаковую величину при распространении от соответствующих сопряженных точек на поверхности 28 поперечного сканирования, разно удаленных от оптической оси устройства, не имеют кривизны. При этом пространственное положение линии 43, т.е. места фокусировки оптического излучения, совпадает с пространственным положением окна когерентности, причем совпадение указанных пространственных положений сохраняется при продольном сканировании объекта 11.

На фиг. 20 приведен пример изображения, полученного с помощью разработанных технических решений, которое не искажено в результате aberrации, в отличие от изображения, получаемого с помощью известных технических решений (фиг. 19).

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения изображения объекта, по которому низкокогерентное оптическое излучение направляют одновременно на исследуемый объект и по референтному оптическому пути, при этом упомянутое оптическое излучение направляют на исследуемый объект через оптическую систему, которая обеспечивает фокусировку низкокогерентного оптического излучения на исследуемом объекте, при одновременном поперечном сканировании упомянутого оптического излучения по поверхности, приблизительно ортогональной направлению распространения упомянутого оптического излучения, затем смешивают оптическое излучение, вернувшееся от исследуемого объекта, и оптическое излучение, прошедшее по референтному оптическому пути, и отображают интенсивность оптического излучения, вернувшегося от исследуемого объекта, используя для этого оптическое излучение, являющееся результатом указанного смешения, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что корректируют связанную с поперечным сканированием aberrацию оптической длины пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, путем обеспечения постоянства времени распространения низкокогерентного оптического излучения от заданной точки на поверхности поперечного сканирования до соответствующей сопряженной точки в плоскости изображения в пределах поля зрения.

2. Способ получения изображения объекта по п. 1, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что для заданных координат на поверхности поперечного сканирования дополнительно осуществляют продольное сканирование, изменяя по заданному закону разность оптических длин путей для низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, и низкокогерентного оптического излучения, направляемого по референтному пути.

3. Способ получения изображения объекта по п. 2, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что разность оптических длин путей для низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, и низкокогерентного оптического излучения, направляемого по референтному пути, изменяют, по меньшей мере, на несколько десятков длин волн низкокогерентного оптического излучения.

4. Способ получения изображения объекта по п. 2 или по п. 3, **ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ** тем, что изменение разности оптических длин путей для

низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, и низкокогерентного оптического излучения, направляемого по референтному пути, осуществляют путем изменения оптической длины пути для низкокогерентного оптического излучения от поверхности поперечного сканирования до оптической системы.

5. Способ получения изображения объекта по п. 1 или по п. 2, или по п. 3 или по п. 4, ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ тем, что исследуемым объектом является биоткань живого организма.

6. Способ получения изображения объекта по п. 5, ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ тем, что исследуемым объектом является внутренняя полость живого организма.

7. Способ получения изображения объекта по п. 1 или по п. 2, или по п. 3, или по п. 4, или по п. 5, или по п. 6, ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ тем, что в качестве упомянутого низкокогерентного оптического излучения используют оптическое излучение видимого или ближнего ИК диапазона длин волн.

8. Устройство для получения изображения объекта, содержащее оптически связанные источник низкокогерентного оптического излучения, интерферометр, и, по меньшей мере, один фотоприемник, выход которого связан с блоком обработки и индикации, при этом интерферометр включает оптически связанные светорасщепитель, измерительное и референтное плечи, а измерительное плечо снабжено устройством доставки низкокогерентного оптического излучения, содержащим оптически связанные оптическое волокно, размещенное с возможностью прохождения через него низкокогерентного оптического излучения от проксимального конца упомянутого устройства доставки к его дистальному концу, и оптическую систему, которая обеспечивает фокусировку низкокогерентного оптического излучения на исследуемом объекте и включает, по меньшей мере, первый линзовый компонент с положительной оптической силой, а также систему поперечного сканирования низкокогерентного оптического излучения, при этом оптическое волокно входит в состав упомянутой системы поперечного сканирования, которая выполнена с возможностью перемещения торца дистальной части оптического волокна по поверхности поперечного сканирования в направлении, приблизительно перпендикулярном оси оптического волокна, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что устройство доставки низкокогерентного оптического излучения выполнено с возможностью коррекции связанной с поперечным

сканированием аберрации оптической длины измерительного плеча, при этом упомянутая оптическая система содержит, по меньшей мере, второй линзовый компонент с положительной оптической силой, установленный за упомянутым первым линзовым компонентом.

9. Устройство для получения изображения объекта по п. 8, **ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ** тем, что поверхность поперечного сканирования характеризуется отличной от нуля кривизной.

10. Устройство для получения изображения объекта по п. 9, **ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ** тем, что упомянутое оптическое волокно выполняет функцию упругой консоли и закреплено в опорном элементе, входящем в состав устройства доставки низкокогерентного оптического излучения.

11. Устройство для получения изображения объекта по п. 8 или по п. 9, или по п. 10, **ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ** тем, что первый и второй линзовые компоненты оптической системы размещены приблизительно конфокально.

12. Устройство для получения изображения по п. 9 или по п. 10, **ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ** тем, что первый линзовый компонент оптической системы размещен на расстоянии, приблизительно равном фокусному расстоянию этого линзового компонента, от поверхности поперечного сканирования, а расстояние между первым и вторым линзовыми компонентами оптической системы отличается от расстояния, соответствующего конфокальному расположению упомянутых линзовых компонент оптической системы на величину  $\delta_1$ , связанную с фокусным расстоянием  $F_1$  первого линзового компонента оптической системы и радиусом  $R$  кривизны поверхности поперечного сканирования соотношением:

$$\delta_1 \cong (F_1)^2 / R.$$

13. Устройство для получения изображения по п. 9 или по п. 10, **ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ** тем, что первый линзовый компонент оптической системы смешен на расстояние  $\delta_2$  от положения, при котором расстояние от этого линзового компонента до поверхности поперечного сканирования приблизительно равно фокусному расстоянию этого линзового компонента, а расстояние между первым и вторым линзовыми компонентами оптической системы отличается от расстояния, соответствующего конфокальному расположению упомянутых линзовых компонент оптической системы на величину  $\delta_3$ , определяемую соотношением:

$$\delta_3 \cong (F_1)^2 / (R + \delta_2).$$

14. Устройство для получения изображения объекта по п. 8 или по п. 9, или по п. 10, или по п. 11, или по п. 12, или по п. 13, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что устройство доставки низкокогерентного оптического излучения выполнено в виде оптоволоконного зонда.

15. Устройство для получения изображения объекта по п. 8 или по п. 9, или по п. 10, или по п. 11, или по п. 12, или по п. 13, или по п. 14, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что, по меньшей мере, одно из плеч интерферометра дополнительно снабжено устройством для продольного сканирования.

16. Устройство для получения изображения объекта по п. 15, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что устройство для продольного сканирования размещено в измерительном плече интерферометра и выполнено обеспечивающим изменение оптической длины участка измерительного плеча от поверхности поперечного сканирования до оптической системы.

17. Устройство для получения изображения объекта по п. 16, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что при получении изображения подповерхностной части исследуемого объекта коэффициент  $M$  увеличения оптической системы связан с показателем  $N_1$  преломления исследуемого объекта следующим образом:  $M = 1/N_1$ .

18. Устройство для получения изображения объекта по п. 16, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что при получении изображения профиля исследуемого объекта коэффициент  $M$  увеличения оптической системы связан с показателем  $N_2$  преломления среды, соприкасающейся с поверхностью исследуемого объекта, следующим образом:  $M = 1/N_2$ .

19. Устройство для получения изображения объекта по п. 15 или по п. 16, или по п. 17, или по п. 18, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что устройство для продольного сканирования размещено внутри устройства доставки низкокогерентного оптического излучения.

20. Устройство для получения изображения объекта по п. 16 или по п. 17, или по п. 18, или по п. 19, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что торец дистальной части оптического волокна снабжен жестко скрепленной с ним микролинзой.

(21.) Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения, содержащее оптически связанные оптическое волокно, размещенное с возможностью прохождения через него низкокогерентного оптического излучения от проксимального конца устройства доставки к его дистальному концу, и

оптическую систему, которая обеспечивает фокусировку низкокогерентного оптического излучения на исследуемом объекте и включает, по меньшей мере, первый линзовый компонент с положительной оптической силой, а также систему поперечного сканирования низкокогерентного оптического излучения, при этом оптическое волокно входит в состав упомянутой системы поперечного сканирования, которая выполнена с возможностью перемещения торца дистальной части оптического волокна по поверхности поперечного сканирования в направлении, приблизительно перпендикулярном оси оптического волокна, **ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ** тем, что упомянутая оптическая система выполнена с возможностью коррекции связанной с поперечным сканированием aberrации оптической длины пути низкокогерентного оптического излучения, проходящего через устройство доставки, при этом оптическая система содержит, по меньшей мере, второй линзовый компонент с положительной оптической силой, который установлен за упомянутым первым линзовым компонентом.

22. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 21, **ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ** тем, что поверхность поперечного сканирования характеризуется отличной от нуля кривизной.

23. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 22, **ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ** тем, что упомянутое оптическое волокно выполняет функцию упругой консоли и закреплено в опорном элементе, входящем в состав устройства доставки низкокогерентного оптического излучения.

24. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 21 или по п. 22, или по п. 23, **ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ** тем, что первый и второй линзовые компоненты оптической системы размещены приблизительно конфокально.

25. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 22 или по п. 23, **ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ** тем, что первый линзовый компонент оптической системы размещен на расстоянии, приблизительно равном фокусному расстоянию этого линзового компонента, от поверхности поперечного сканирования, а расстояние между первым и вторым линзовыми компонентами оптической системы отличается от расстояния, соответствующего конфокальному расположению упомянутых линзовых компонентов оптической системы на величину  $\delta_1$ , связанную с фокусным расстоянием  $F_1$  первого линзового компонента оптической системы и радиусом  $R$  кривизны поверхности поперечного сканирования соотношением:

$$\delta_1 \equiv (F_1)^2 / R.$$

26. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 22 или по п. 23, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что первый линзовый компонент оптической системы смешен на расстояние  $\delta_2$  от положения, при котором расстояние от этого линзового компонента до поверхности поперечного сканирования приблизительно равно фокусному расстоянию этого линзового компонента, а расстояние между первым и вторым линзовыми компонентами оптической системы отличается от расстояния, соответствующего конфокальному расположению упомянутых линзовых компонент оптической системы на величину  $\delta_3$ , определяемую соотношением:

$$\delta_3 \equiv (F_1)^2 / (R + \delta_2).$$

27. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 21 или по п. 22, или по п. 23, или по п. 24, или по п. 25, или по п. 26, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что устройство доставки низкокогерентного оптического излучения выполнено в виде оптоволоконного зонда, при этом оптическое волокно, оптическая система и система поперечного сканирования низкокогерентного оптического излучения размещены в протяженном корпусе, снабженном продольным сквозным отверстием, в котором в продольном направлении размещено упомянутое оптическое волокно.

28. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 21 или по п. 22, или по п. 23, или по п. 24, или по п. 25, или по п. 26, или по п. 27, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что вблизи плоскости изображения торца дистальной части оптического волокна размещено выходное окно устройства доставки низкокогерентного оптического излучения.

29. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 28, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что функцию выходного окна устройства доставки низкокогерентного оптического излучения выполняет второй линзовый компонент оптической системы.

30. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 28 или по п. 29, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что нормаль к наружной поверхности выходного окна устройства доставки низкокогерентного оптического излучения ориентирована под углом к направлению падения низкокогерентного оптического излучения на упомянутую наружную поверхность, превышающим угол

расходимости упомянутого низкокогерентного оптического излучения в месте его пересечения с упомянутой наружной поверхностью.

31. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 30, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что при однокоординатной приближенно линейной траектории поперечного сканирования второй линзовый компонент смешен в направлении, ортогональном направлению поперечного сканирования, и в направлении, ортогональном направлению распространения низкокогерентного оптического излучения.

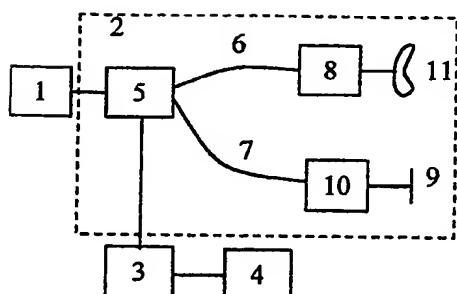
32. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 21 или по п. 22, или по п. 23, или по п. 24, или по п. 25, или по п. 26, или по п. 27, по 28 или по п. 29, или по п. 30, или по п. 31, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что оно дополнительно снабжено устройством для продольного сканирования, выполненным в виде устройства для изменения оптической длины пути низкокогерентного оптического излучения от поверхности поперечного сканирования до оптической системы.

33. Устройство для получения изображения объекта по п. 32, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что при получении изображения подповерхностной части исследуемого объекта коэффициент  $M$  увеличения оптической системы связан с показателем  $N_1$  преломления исследуемого объекта следующим образом:  $M = 1/N_1$ .

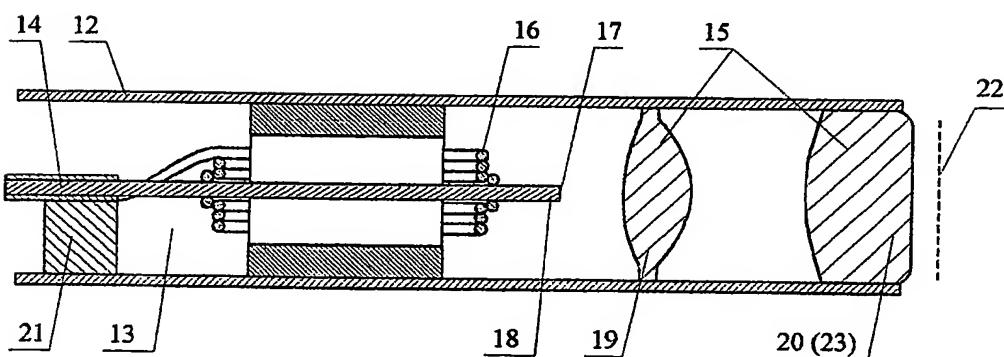
34. Устройство для получения изображения объекта по п. 32, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что при получении изображения профиля исследуемого объекта коэффициент  $M$  увеличения оптической системы связан с показателем  $N_2$  преломления среды, соприкасающейся с поверхностью исследуемого объекта, следующим образом:  $M = 1/N_2$ .

35. Устройство доставки низкокогерентного оптического излучения по п. 21 или по п. 22, или по п. 23, или по п. 24, или по п. 25, или по п. 26, или по п. 27, по 28 или по п. 29, или по п. 30, или по п. 31, или по п. 32, или по п. 33, или по п. 34, ОТЛИЧАЮЩЕЕСЯ тем, что торец дистальной части оптического волокна снабжен жестко скрепленной с ним микролинзой.

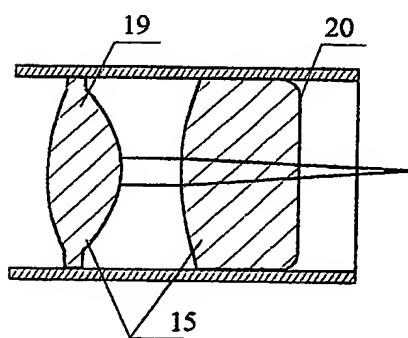
СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ  
ОБЪЕКТА, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВО  
ДОСТАВКИ НИЗКОГЕРЕНТНОГО  
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



Фиг. 1

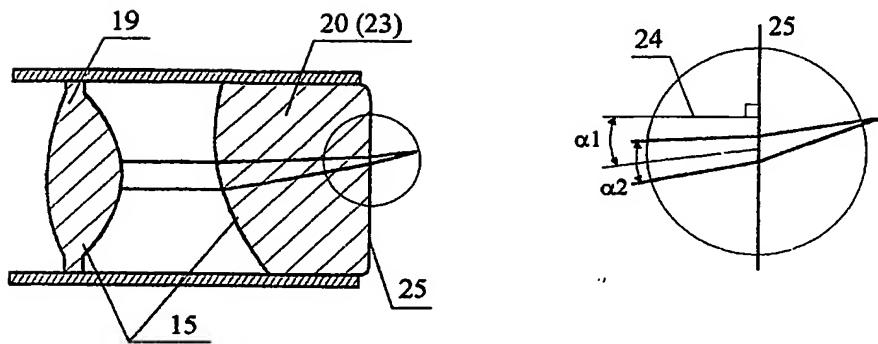


Фиг. 2

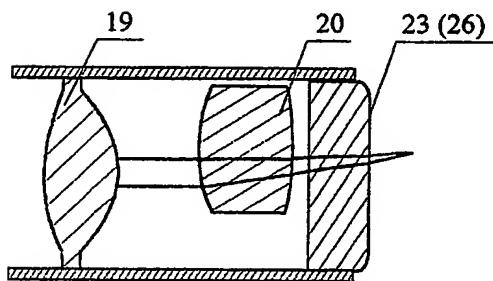


Фиг. 3

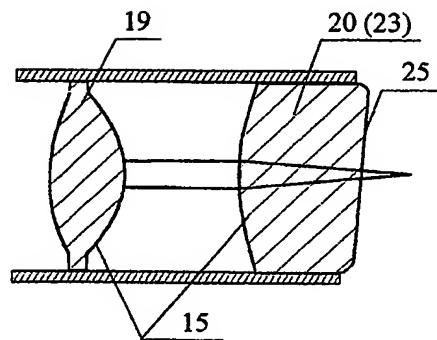
СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ  
ОБЪЕКТА, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВО  
ДОСТАВКИ НИЗКОГЕРЕНТНОГО  
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



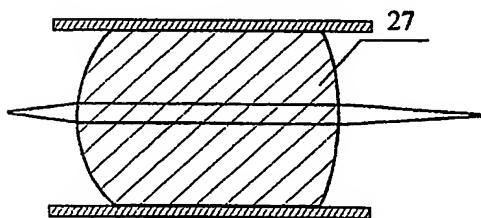
Фиг. 4



Фиг. 5

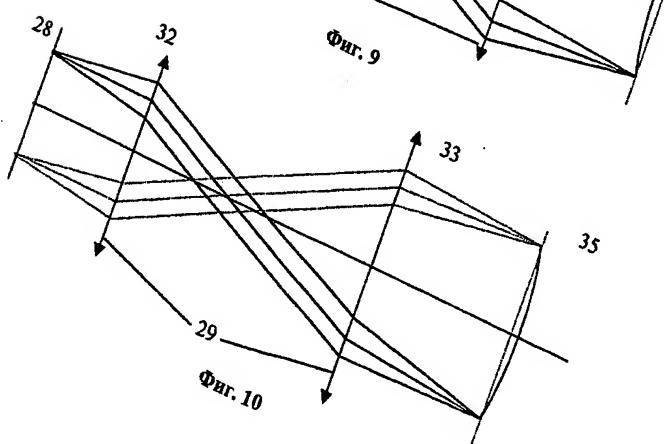
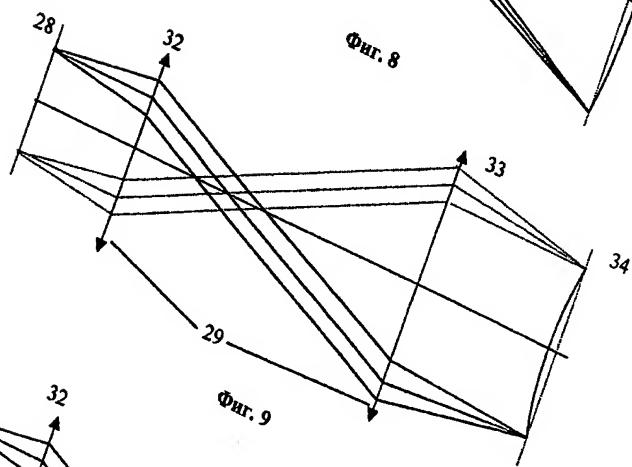
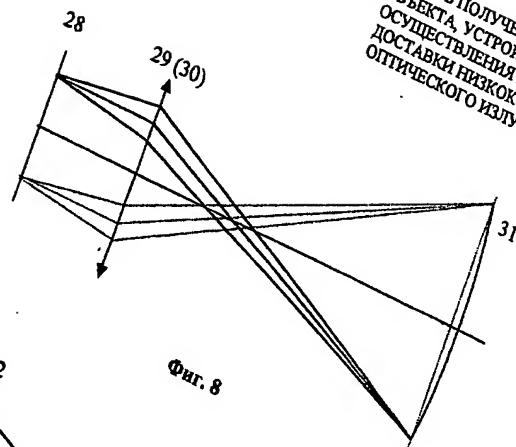


Фиг. 6

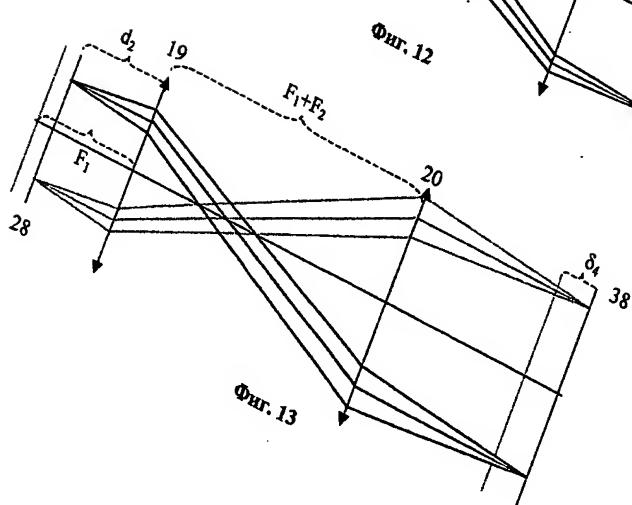
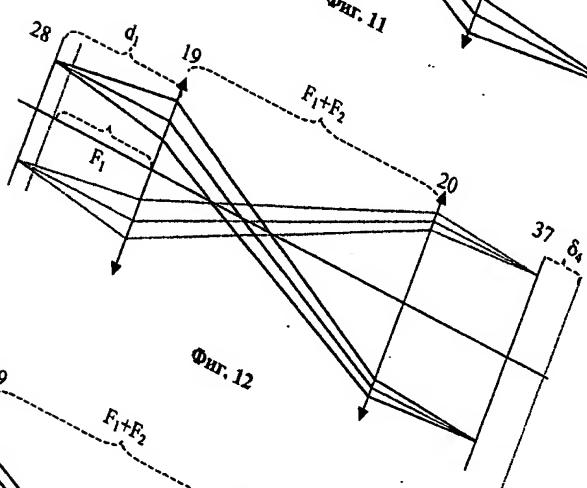
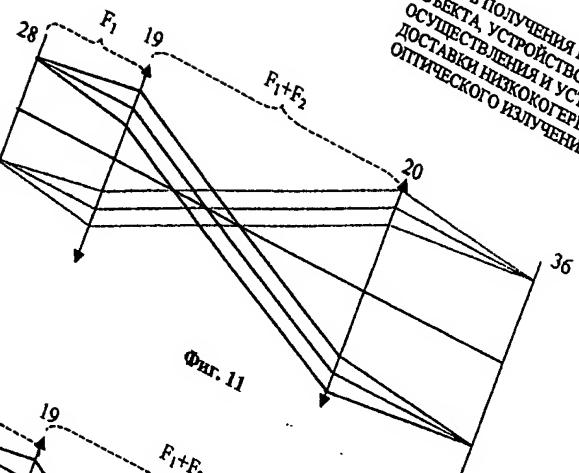


Фиг. 7

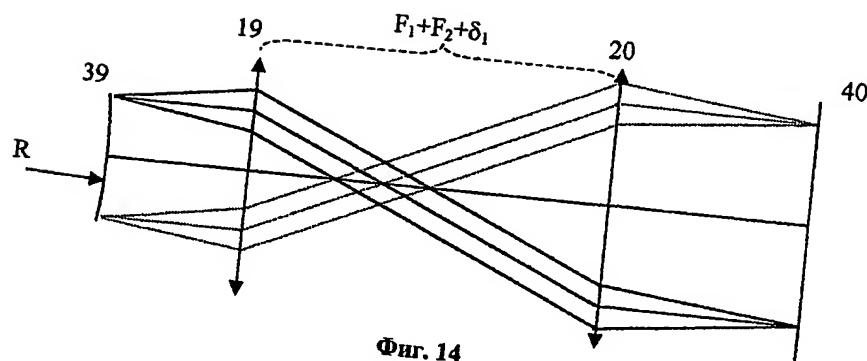
Способ получения изображения  
объекта, устройство для его  
осуществления и устройство  
доставки низкогерентного  
оптического излучения



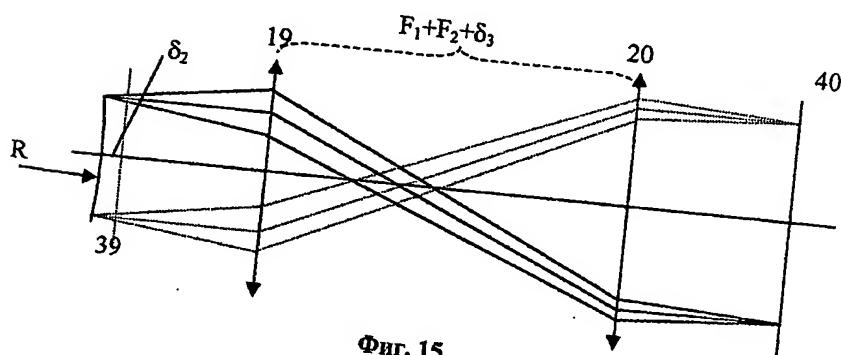
СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ  
ОБЪЕКТА, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВО  
ДОСТАВКИ НИЗКООЧЕРЕНТНОГО  
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



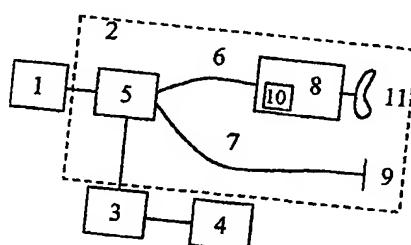
СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ  
ОБЪЕКТА, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВО  
ДОСТАВКИ НИЗКОГЕРЕНТНОГО  
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



Фиг. 14

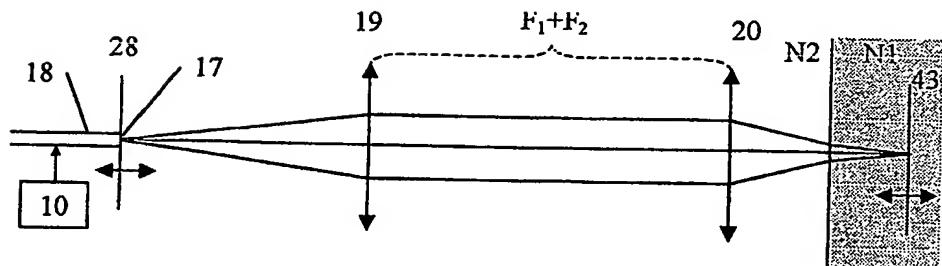


Фиг. 15

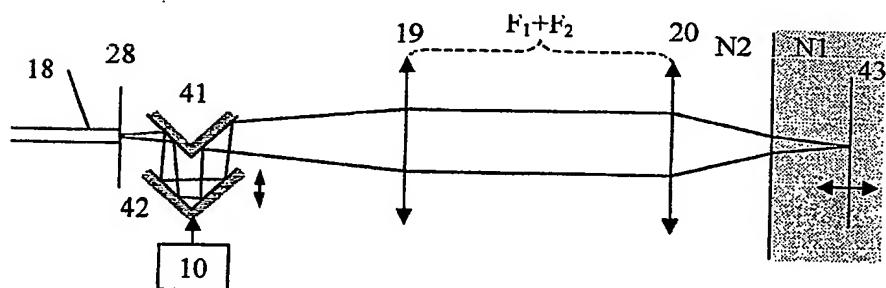


Фиг. 16

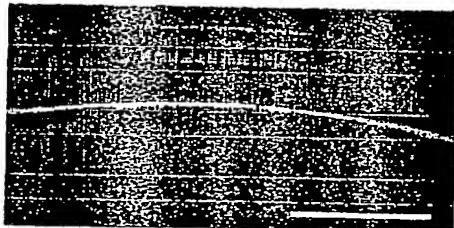
СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ  
ОБЪЕКТА, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВО  
ДОСТАВКИ НИЗКОГЕРЕНТНОГО  
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



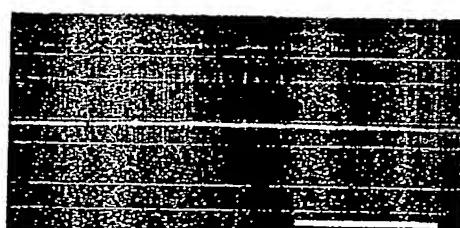
Фиг. 17



Фиг. 18



Фиг. 19



Фиг. 20

РЕФЕРАТ

к заявке на изобретение

“СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВО ДОСТАВКИ НИЗКОКОГЕРЕНТНОГО  
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ”

Разработаны способ получения изображения объекта и устройство для его осуществления, а также устройство доставки оптического низкокогерентного излучения, которые могут быть использованы для получения изображения объекта с помощью оптического низкокогерентного излучения при диагностике состояния отдельных органов и систем человека *in vivo* или *in vitro*, а также в технической диагностике, например, для контроля технологических процессов. Разработанные технические решения позволяют формировать неискаженное, плоское изображение плоского объекта исследования и характеризуются высоким поперечным разрешением. Это достигается тем, что при получении изображения объекта обеспечено постоянство времени распространения низкокогерентного оптического излучения от заданной точки на поверхности поперечного сканирования, пространственное положение которой соответствует пространственному положению торца дистальной части оптического волокна, до соответствующей сопряженной точки в плоскости изображения в пределах поля зрения. Это обеспечивает коррекцию связанной с поперечным сканированием аберрации оптической длины пути низкокогерентного оптического излучения, направляемого на исследуемый объект, и достигается выполнением оптической системы в виде, по меньшей мере, двух, размещенных приблизительно конфокально, линзовых компонент с положительной оптической силой. Совместная реализация указанного постоянства времени распространения низкокогерентного оптического излучения и продольного сканирования путем изменения оптической длины пути для низкокогерентного оптического излучения от поверхности поперечного сканирования до оптической системы, а следовательно, и до исследуемого объекта, позволяет совместить положение места фокусировки низкокогерентного оптического излучения и положение окна когерентности, и, следовательно, одновременное их перемещение без использования дополнительных синхронизирующих устройств.

3с, 32 з. п. ф-лы, 20 илл.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**